

個別要素法を用いた鋼製透過型砂防堰堤に作用する衝撃力解析

防衛大学校 正会員 ○堀口俊行 香月 智
フェロー会員 石川信隆

1 緒言

近年、集中豪雨によって土石流が頻発しており、その対策として、鋼製透過型砂防堰堤が多く建設されてきた。しかし、長野県南木曽での土石流災害で梨子沢第1砂防堰堤の上部が損壊した。これは土石流の流速や礫径が設計値をはるかに超えていたためであるが、荷重作用状況と破壊に至る過程について、不明な点が多く残されている。

そこで本研究は、透過型砂防堰堤の衝撃力荷重評価の第一段階として、南木曽での災害事例をもとに 1/40 スケールでモデル化した実験から得られた衝撃荷重を、個別要素法で解析した衝撃荷重と比較検討するとともに、各部材に生起している衝撃荷重について基礎的に考察するものである。

2 梨子沢第1砂防堰堤被災状況

平成26年7月9日、長野県木曽郡南木曽町の梨子沢で、台風8号に伴う集中豪雨により土石流が発生し、梨子沢の下流では多数の人家や JR 中央本線、国道19号線が被災し、死傷者を伴う災害となった。流域に設置された3基の砂防堰堤では、巨礫を捕捉したが、写真-1(a)に示すように、鋼製透過型砂防堰堤である梨子沢第1砂防堰堤の上部が損傷した。ここで興味深いことは、写真-1(b)に示すように、残存する1~2列目の柱部材が押し込まれてほぼ均一に変形していたことである。

一方、事後の分析ではこの損傷メカニズムは、梨子沢第1砂防堰堤の天端上を設計外力より極めて大きな礫を含む土石流が、高速で砂防堰堤の最上流部の捕捉面に衝突して、継手部を破損して礫が流下することにより、天端付近に損傷が生じ、天端水平部材が外れ、最上部が倒れたと推定されている¹⁾。

3 実験の概要

図-1に、実験で用いた直線水路を示す。水路は、水路長4.5m、水路幅30cm、高さ50cmであり、水路の勾配を任意に設定することができる。また、堰堤模型は、礫モデルの位置から3.0m下方に設置している。礫モデルは、粒径(比重2.6)約30~40mmの玉砂利を用いた。図-2(a)に示す堰堤模型は、梨子沢第1砂防堰堤の最上流面および1,2列目を縮尺1/40で再現しており、高さ260mm、横幅270mm、奥行き90mmである。堰堤模型の素材は木製の円柱および円管(直径15mm)を用いた。堰堤模型は、計測架台からナイロン糸で吊るし、堰堤模型に作用した荷重が分力計に直接伝達する構造になっている。これより、礫モデルの後方から水を流し、堰堤



(a) 正面図 (b) 水平部材圧縮状況
写真-1 梨子沢第一砂防堰堤被災状況

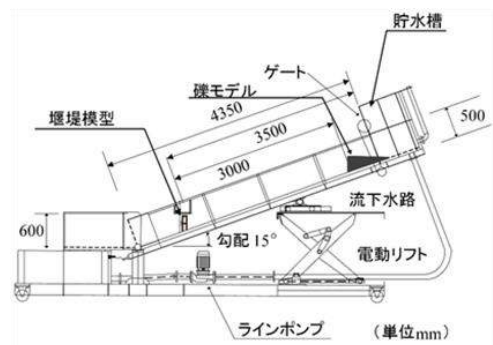
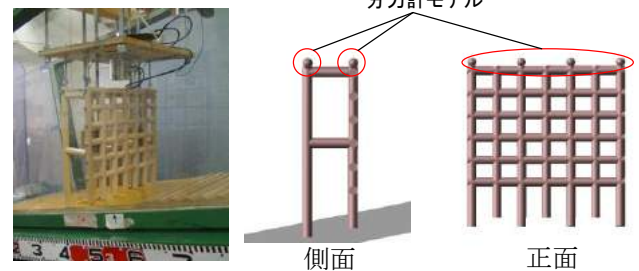


図-1 直線水路
分力計モデル



(a) 実験 (b) 解析

図-2 堰堤モデル

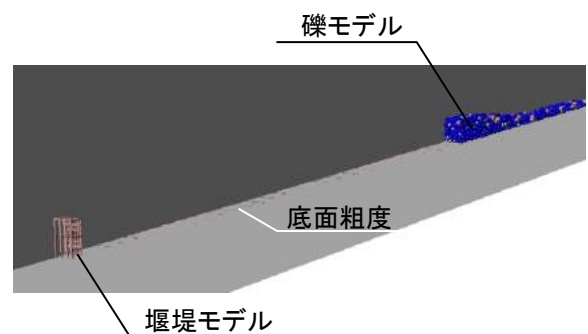


図-3 全体図(解析)

に衝突して得られた荷重を分力計で計測した。

4 解析の概要

ここでは、渋谷ら²⁾が開発した個別要素法を用いる。すなわち、礫要素および構造物の部材要素をすべて剛体要素で置換し、まず各要素が接触状態にあるかどうかを判定する。接触したならば、要素間に

キーワード 透過型砂防堰堤、土石流、個別要素法、衝撃荷重

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水1-10-20 防衛大学校 建設環境工学科 TEL:046-841-3810 FAX:046-844-5913

表-1 解析基本値

項 目		値
礫要素	比 重 ρ_g	2.6
	要素数	1000
流水	流速	1.5m/s
	水深	30 cm
	抗力係数	0.49
斜路	平面要素 (勾 $\theta=11.3^\circ$)	3
堰堤部	円柱形要素	26
分力計	球形要素	8
分力計の 連結ばね	法線方向 K_{cn} (N/m)	1.0×10^7
	接線方向 K_{cs} (N/m)	1.0×10^7
要素間ばね	法線方向 K_n (N/m)	1.0×10^6
	接線方向 K_s (N/m)	3.5×10^5
時間条件	時間刻み Δt	1.0×10^{-6}

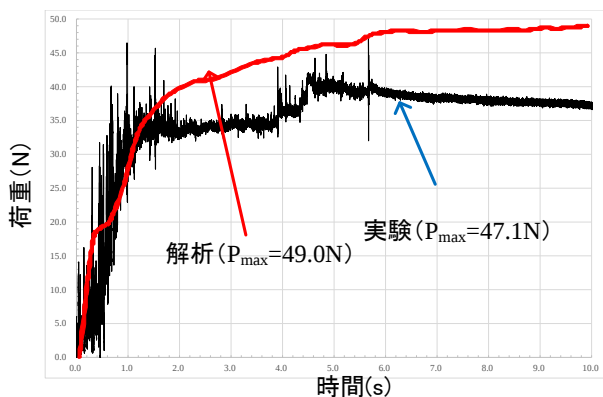


図-5 荷重～時間関係

設定した要素間ばねの接触力を算定し、時々刻々、運動方程式を解くことにより変位を求め、個々の要素の運動を追跡するものである。

図-3に、解析初期位置を示している。粗度には、円柱形要素を実験と同様の間隔で配置している。礫モデルは、実験と同様の粒径を与えており、配置要領は落下法でランダムに配置した。表-1に解析基本値を示している。ばね係数は文献2)を参考に決定した。また、流水の計算は流速分布モデルを用いており、流速、水深および抗力係数は、それぞれ実験のものと同様なものを用いている。

5. 実験結果と解析結果の比較

5.1 礫の堆積形状の比較

図-4に、礫の堆積形状の解析と実験の時刻歴を示す。土石流の先端が堰堤に衝突した時間を初期時間($t=t_0$)としており、時間とともに堆積している過程をほぼ再現できている。

5.2 衝撃荷重の比較

図-5に、衝撃荷重の実験結果と解析結果を示している。土石流モデルの先端が衝突してから1秒程度で最大衝撃荷重付近まで上がり徐々に荷重が上がるっていく過程をほぼ再現できている。すなわち、最大荷重はやや解析の方が大きくなっているが、実験値は衝突後わずかな時間で最大値まで荷重が到達

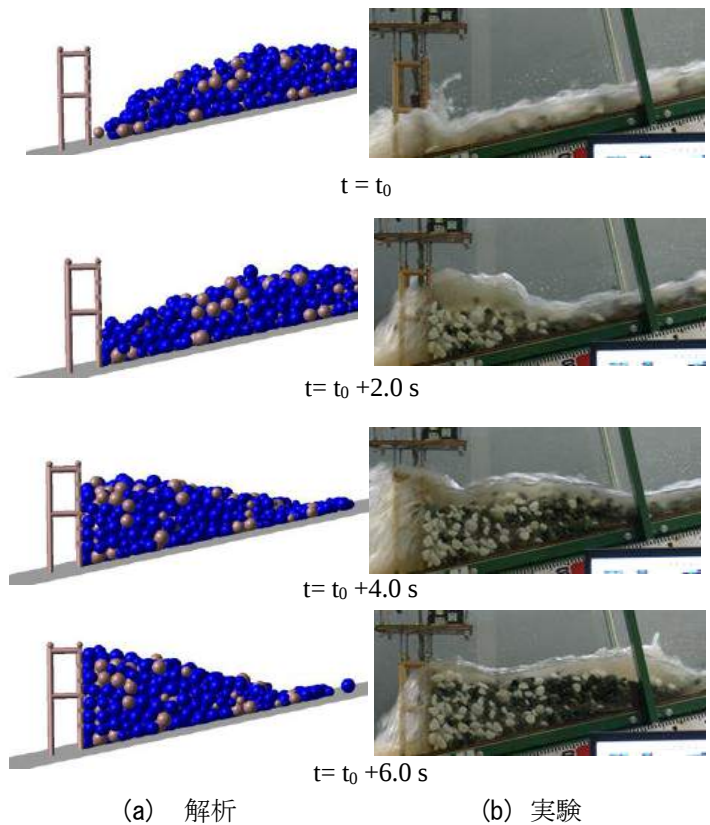


図-4 礫の堆積形状の比較 (時系)

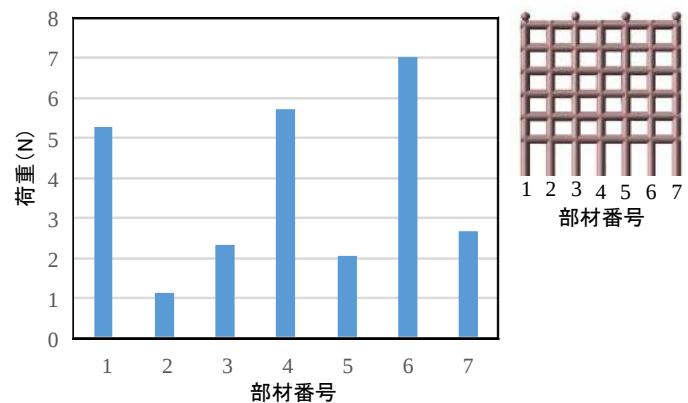


図-6 最終形状時の各部材の荷重

していることわかる。

また、図-6に最終形状時に受ける各部材の荷重を示している。各部材番号は、正面の左から部材1から部材7までであり、それぞれ約1～7N程度の値が出ている。これは、礫それぞれがばらついた箇所に衝突しており、部材ごとに荷重が大きく異なることになり、荷重が分散して作用していることを示している。しかし、全体としての衝撃荷重は図-5のようになる。

参考文献

- 1) 国土交通省中部地方整備局多治見砂防国道事務所：梨子沢流域砂防堰堤に関する検討会，2014。
- 2) 渋谷一，香月智，大隅久，石川信隆：3D-DEMによる流木捕捉工の捕捉シミュレーション解析，砂防学会誌，Vol.63，No.6，p.13-72，2011